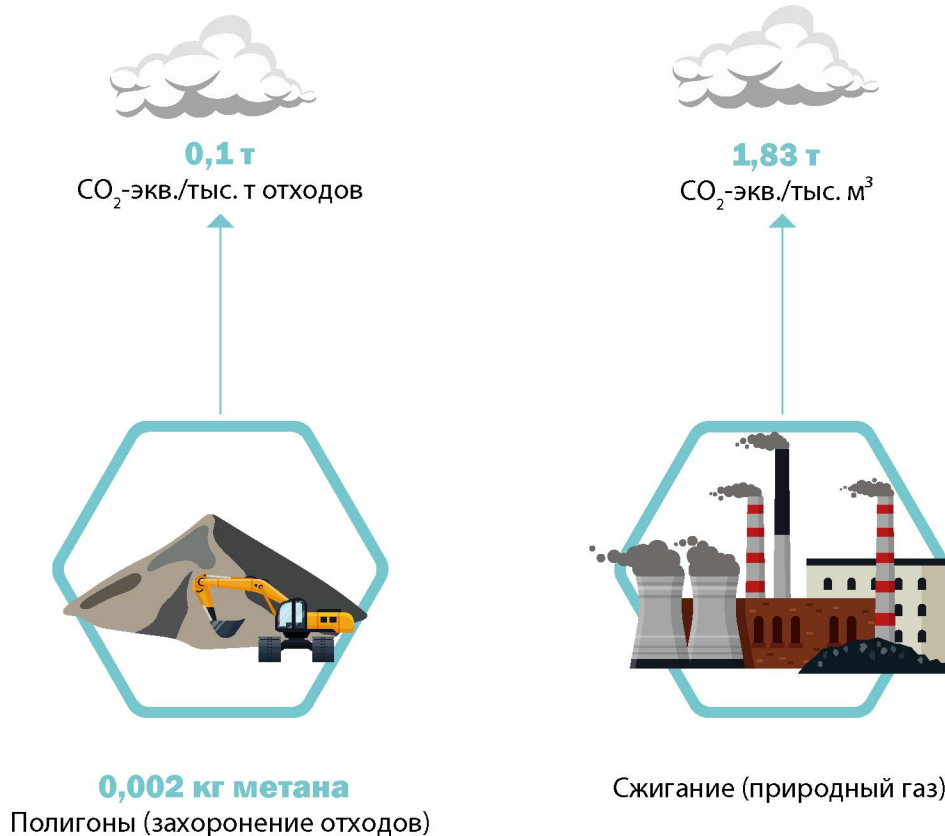


Технопарк «Реал-Инвест» — площадка для реализации инвестиционных проектов. В 2019 году на площадке 165 га в рабочем поселке Гидроторф Балахнинского района Нижегородской области был создан первый российский завод, не имеющий аналогов в России, по улавливанию и очистке дымовых газов от сжигания природного газа в энергоцентре на базе газопоршневых установок мощностью 22 МВт (с возможностью расширения до 40 Мвт) и производства востребованной продукции из парниковых

газов — жидкой углекислоты и «сухого льда». Качество получаемой углекислоты подтверждено международным сертификатом FCSS 2200 системы менеджмента безопасности пищевых продуктов. Также на территории ЭТП «Реал-Инвест» размещается завод по переработке полимерных отходов (ПЭТ-тары и полистирола). С 2018 года осуществляется переработка отходов ПЭТ-тары от сортировочных комплексов ТКО с получением востребованного продукта — ПЭТ-флексы (хлопьев). А в 2020 году запущена линия по переработке

2018



(рециклингу) ПЭТ во вторичное полимерное сырье. Достигнутые объемы производства беспечивают переработку ПЭТ-тары, образующейся как отходы в Нижегородской и прилегающих областях. Автономный энергоцентр — комплекс три-генерации, позволяющий использовать всю продукцию (электричество, тепло и дымовые газы) практически без ущерба для окружающей среды. Мощности энергоцентра хватит, чтобы обеспечить электрической и тепловой энергией все прилегающие объекты экотехнопарка.

Экотехнопарк «Реал-Инвест» соответствует принципам экономики замкнутого цикла:

- ▶ ресурсосбережение;
- ▶ увеличение ресурсоэффективности промышленных предприятий;
- ▶ сокращение образования отходов, выбросов и сбросов загрязняющих веществ (особое внимание уделяется парниковым газам);
- ▶ промышленный симбиоз (обмен ресурсами).

2021



УДК 504.064.4

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПО УЛАВЛИВАНИЮ CO₂ ИЗ ОТХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА



М. Р. Анисимова

независимый
эксперт

И. В. Зайцева

инженер отдела
промышленной экологии
ФГАУ «НИИ «ЦЭПП»,
г. Санкт-Петербург

М. М. Наумова

научный сотрудник
отдела промышленной
экологии ФГАУ «НИИ «ЦЭПП»,
г. Санкт-Петербург

АННОТАЦИЯ

По данным Международного энергетического агентства, технологии улавливания и захоронения углерода (с англ.: carbon capture and storage technology, CCS) признаны критически важными для сдерживания роста температуры на планете в пределах 1,5–2 °С к 2050 г. Применение этих технологий — эффективный способ существенно снизить объем выбросов промышленных предприятий.

В статье авторами рассмотрен апробированный инновационный опыт использования отечественной технологии по улавливанию CO₂ из отходящих дымовых газов в Нижегородской области, основанной на принципах экономики замкнутого цикла, который показал эффективность данной технологии в целях использования CO₂ в качестве ресурса для производства новой востребованной продукции (жидкая углекислота и «сухой лед»).

Ключевые слова:

экономика замкнутого цикла, отходы, вторичные ресурсы, парниковые газы, промышленный симбиоз, технология улавливания и захоронения углерода, ресурсоэффективность, энергоэффективность.

В настоящее время в мировом масштабе проблемы изменения климата и глобального потепления требуют приложения всеобщих усилий для снижения концентрации парниковых газов в атмосфере Земли. Улавливание диоксида углерода — это ключевая стратегия в достижении целей по снижению эмиссии CO₂.

На XXI Международной конференции по изменению климата было принято Парижское соглашение РКИК ООН от 12.12.2015 [1], основной целью которого является сдерживание потепления на планете на уровне менее 2 °С к 2050 г. Исходя из этого все страны мирового сообщества, включая Россию,

должны разработать собственные долгосрочные стратегии «низкоуглеродного» развития. В России принята Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 г., утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 №1523-р [2], которая одной из приоритетных целей энергетической политики устанавливает принципы рационального природопользования и энергетической эффективности. В документе указывается на возрастающий интерес к технологиям улавливания, хранения и использования углерода, которые в перспективе могут оказать существенное влияние на использование ископаемых видов топлива.

Все в большей степени внимание фокусируется на необходимости удаления CO_2 из дымовых газов, образующихся при различных процессах в самых разных отраслях промышленности, включая энергетику.

Развивая договоренности Парижского соглашения по климату, многие страны приняли на себя обязательства перейти к экономике с нетто-нулевыми выбросами парниковых газов. Технологии улавливания, использования и хранения CO_2 (с англ. carbon capture, utilization and storage, CCUS) на сегодняшний день являются важным инструментом декарбонизации [3, 4].

Технологии CCUS подразделяются на:

- ▶ специализированные технологии улавливания углерода — технологии использования ископаемого топлива с улавливанием и хранением углерода (CCS); прямое улавливание из воздуха (DACCS), биоэнергетику с использованием технологий улавливания и хранения углерода (BECCS);
- ▶ технологии хранения углерода — хранение в минерализованных водоносных пластах, увеличение нефтеотдачи пластов;
- ▶ технологии использования углерода.

Технология утилизации CO_2 имеет ряд существенных недостатков и ограничений: для источников, располагающихся недалеко от мест возможного захоронения углерода (в виде CO_2), затраты могут быть невелики, однако доставка CO_2 от источников выбросов парниковых газов (электростанций, котельных) к местам захоронения будет связана с очень большими затратами.

Кроме того, отсутствует четкое представление о том, что будет происходить с закачанным

в скважины CO_2 , поскольку могут образовываться его утечки из геологических структур или иные пути его высвобождения в атмосферу.

В Российской Федерации компании также начинают разработку технологий улавливания, использования и хранения CO_2 в основном в нефте- и газодобывающей отрасли, а также химическом комплексе. Они часто реализуются совместно с западными предприятиями, на основе импортных технологий.

В России в настоящее время отсутствует инфраструктура для улавливания, транспортировки и закачки CO_2 в минерализованные водоносные пласты. Решением вышеуказанных проблем, по мнению авторов статьи, может стать инновационная технология улавливания из продуктов сжигания природного газа на стационарных энергетических установках и использования CO_2 в качестве ресурса для производства новых востребованных продуктов (товаров) на основе принципов экономики замкнутого цикла.

Экономика замкнутого цикла подразумевает рациональное использование природных ресурсов и снижение загрязнения окружающей среды. В рамках данной экономической модели использованные ресурсы получают «вторую» жизнь благодаря включению дополнительного этапа — переработки израсходованных продуктов и материалов, который позволяет создать замкнутую систему использования ресурсов. Экономика замкнутого цикла базируется на принципе 3R — это наиболее предпочтительные подходы к обращению с отходами с точки зрения влияния на экологию — сокращение потребления, повторное использование, вторичная переработка [5].

Одним из механизмов реализации экономики замкнутого цикла является промышленный симбиоз. В основе промышленного симбиоза лежит принцип организации взаимосвязи между промышленными процессами предприятий посредством обмена сырьевыми и энергетическими потоками для создания взаимных выгод, в том числе производством продукции на основе вторичных ресурсов [6].

В экономике замкнутого цикла ценность продукции, материалов, ресурсов поддерживается и возобновляется на протяжении как можно более длительного периода времени, а образование эмиссий (выбросов, отходов, сбросов и др.) минимизировано. Таким образом, экономика замкнутого цикла способствует снижению материалов и энергоемкости производства и потребления, вовлечения вторичных ресурсов в хозяйственный оборот и воспроизводство минерально-сырьевой базы [7].

Одной из стратегических задач в рамках «Основ государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» (утв. Президентом России 30.04.2012) [8] признано обеспечение экологически ориентированного роста экономики и внедрения экологически эффективных инновационных технологий. Решением поставленной задачи является внедрение инновационных ресурсосберегающих, экологически безопасных и эффективных технологий на базе единой технологической платформы с активным участием государства, бизнес-сообщества, организаций науки и образования, общественных объединений и некоммерческих организаций.

В качестве кейса успешной реализации технологий улавливания, использования и хранения CO₂ на основе принципов экономики замкнутого цикла

в Российской Федерации можно привести группу компаний «Реал-Инвест».

На базе технопарка группы компаний «Реал-Инвест» в поселке Гидроторф Балахнинского района в Нижегородской области на территории, площадь которой достигает 165 гектар, уже функционируют несколько производств, одними из которых стали автономный энергетический центр, созданный на базе газопоршневых установок (ГПУ), заводы по переработке полимерной продукции, цех металлоконструкций, а также завод емкостного оборудования и первый в России завод по утилизации дымогарных газов, производству углекислоты и сухого льда.

В настоящий момент в поселке Гидроторф строится новый цех по производству емкостей под давлением увеличенного объема (до 100 куб. м) и производству передвижных цистерн под различные технические газы, в том числе и криогенные.

На рисунке 1 приведена карта расположения площадки «Реал-Инвест» в Нижегородской области, территориальное расположение и транспортная доступность.

Группа компаний «Реал-Инвест» была основана в 1999 г. В настоящее время это мощная инвестиционная группа компаний в Нижегородской области, в которую входят предприятия различных направлений деятельности, обладающие высококвалифицированным персоналом и использующие современные экологичные технологии.

В 2012 г. группой компаний «Реал-Инвест», впервые в России, был запущен высокотехнологичный завод по улавливанию дымогарных газов и производству из него жидкого диоксида углерода и «сухого льда» по зарубежному проекту Union Engineering (Дания).

Территориальное расположение — транспортная доступность



а/дорога: трасса Н. Новгород — Иваново
 ж/д: Н. Новгород — Балахна
 собственные ж/д пути с выходом до станции Балахна — 4,5 км
 до федеральной трассы М7 Волга — 8 км



РИС. 1. Карта расположения площадки «Реал-Инвест» в Нижегородской области

В 2016 г. был введен в эксплуатацию единый производственный комплекс, объединяющий в себе производство по выпуску жидкого диоксида углерода (жидкая углекислота), твердого диоксида углерода («сухой лед»), автономный энергокомплекс по выработке электрической и тепловой энергии на собственной площадке группы компаний «Реал-Инвест». Сырьем для завода по производству углекислоты являются продукты сгорания природного газа от газопоршневых установок энергоцентра. Мощность энергоцентра составляет на данный момент 21 МВт электрической и 22 МВт тепловой энергии (с возможностью расширения до 40 МВт).

Новый завод является третьим заводом «Реал-Инвест» по производству углекислоты. Если первый и второй завод были созданы на базе европейских

технологий последнего поколения, то в рамках строительства третьего завода путем НИОКР были созданы собственная технология и оборудование. Технология разработана учеными НГТУ им. Р.Е. Алексеева, оборудование для перерабатываемой установки изготовлено на собственных мощностях ГК «Реал-Инвеста».

Суть технологии состоит в улавливании дымовых газов от сжигания природного газа, очистке дымовых газов от вредных, потенциально опасных выбросов и получении товарного продукта — диоксида углерода с чистотой 99,99% с помощью колонного, теплообменного, насосного оборудования, в том числе колонны низкотемпературной ректификации. Плановый выпуск жидкой углекислоты после выхода установки на проектную мощность составит 17 тыс. т в год.

Это очень быстро растущий рынок, пользующийся большим спросом у потребителей, поскольку расширяются сферы применения углекислого газа, которые охватывают задачи от промышленного назначения до пищевого производства. Углекислота широко используется в пищевом производстве, при пожаротушении, применяется в работе тепличных хозяйств, при производстве «сухого льда», сварочных смесей, упаковочных материалов и во многих других отраслях промышленности. Углекислый газ (диоксид углерода) занимает важнейшее место среди технических газов, он широко используется практически во всех отраслях промышленности и агропромышленного комплекса. На долю CO_2 приходится 10% всего рынка технических газов.

Особый интерес для потребителей представляет твердый диоксид углерода, или «сухой лед». «Сухой лед» в гранулах лежит в основе самой инновационной технологии очистки — криогенного бластинга (ice blasting).

Суть метода очистки различных поверхностей от загрязнений заключается в ускоренной подаче струи сухого льда на очищаемую поверхность. В результате теплообмена загрязнения резко охлаждаются, сжимаются и легко удаляются с рабочей поверхности. А гранулы льда переходят в газообразное состояние и под давлением отделяют частицы грязи от поверхности. Технология криогенного бластинга — неабразивная очистка, позволяющая качественно очищать любые поверхности без каких-либо негативных последствий и являющаяся экономически выгодным методом. Индустриальная обработка сухим льдом нашла широкое применение в очистке промышленного и энергетического оборудования, металлоконструкций, древесины,

камня. Сухой лед также позволит заменить жидкий азот (дорогое и особо опасное вещество) сухим льдом на предприятиях, которым необходим холод.

Выпускаемая продукция — жидкая углекислота — соответствует стандарту ГОСТ 8050-85 «Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия» сорт высший и ТУ 2114-001-30487086-2012. С 2014 г. на предприятии внедрен международный стандарт менеджмента безопасности и качества пищевой продукции FSSC 22000, что ежегодно подтверждается международными аудитами.

Часть готовой продукции — криобласт-гранулы — применяется на территории технопарка «Реал-Инвест» в качестве абразивного очищающего средства. Еще одним важным достоинством этого метода является отсутствие вторичных отходов.

На территории технопарка производят обширную линейку емкостного газгольдерного оборудования, которое может использоваться для хранения CO_2 и в дальнейшем быть утилизировано.

Еще одним направлением экономики замкнутого цикла на территории «Технопарк Реал-Инвест» является переработка полимерных отходов (ПЭТ-тары и отходов полипропилена).

В октябре 2018 г. введена в эксплуатацию первая очередь завода по переработке ПЭТ-тары производительностью 3000 т в год. В апреле 2020 г. запущена вторая очередь завод по переработке ПЭТ-тары (JIANGSU BEIER MACHINERY CO., LTL). Отходы пластиковых бутылок из полиэтилтарфалата (ПЭТ) на территорию технопарка поступают из разных мест сортировки отходов, в том числе и с Кстовского мусоросортировочного комплекса.

После их обработки (снятия этикеток, промывки и измельчения) получают вторичную продукцию — ПЭТ-флексу — для дальнейшего использования в качестве вторичного гранулята, волокна, пленки, литья и др.

Достигнутые объемы производства (9000 т в год) обеспечат переработку более 50% ПЭТ-отходов, образуемых в Нижегородской области.

Также подвергаются переработке отходы полипропилена, который перерабатывается во вторичные гранулы, которые могут повторно использоваться (при производстве водопроводных и газовых труб, различные элементы для несущих конструкций зданий, крепежей, тепло- и гидроизоляции).

Продукция из полимерных отходов также встроена в цепочку экономики замкнутого цикла и используется в технологическом процессе на территории технопарка на заводе производства емкостного оборудования.

Перечень видов технологических решений утилизации образующихся отходов производства и потребления промышленных предприятий и производимых на их основе вторичных ресурсов и продукции приведен в таблице 1.

На рисунке 2 приведена действующая схема движения отходов и продукции на территории технопарка «Реал-Инвест» с учетом принципа экономики замкнутого цикла.

Таблица 1. Перечень технологических решений утилизации образующихся отходов производства промышленных предприятий и производимых на их основе вторичного сырья и продукции в экотехнопарке

Наименование производства	Наименование технологического процесса, виды отходов	Виды вторичного сырья и продукции	Применение продукции
Генерация энергии	Сжигание природного газа	Электроэнергия Теплоэнергия Дымогарные газы	Продажа электроэнергии
Производство технических газов	Очистка, улавливание дымогарных газов	Дымогарные газы	Получение углекислого газа (CO ₂)
Производство продукции из CO ₂	Углекислый газ (CO ₂)	«Сухой лед» в гранулах и в брикетах, жидкая углекислота	Для резидентов технопарка в пищевой промышленности, в химической, строительной отрасли, производство строительных материалов, металлургия, тяжелая промышленность, добывающая промышленность и др.
Переработка полимерных отходов	Переработка отходов ПЭТ-тары	ПЭТ-флекса	Химический комплекс, пищевая промышленность (упаковочные материалы), производство строительных материалов
	Переработка полипропилена	Вторичная гранула полипропилена	Резиденты ЭТП, химический комплекс
Производство емкостного оборудования	Ремонт, изготовление деталей из полимерной продукции	Использование вторичного сырья из полимерной продукции	Строительный комплекс, автомобильная промышленность и др.

Создание экономически обоснованной системы использования вторичных ресурсов и сокращения негативного воздействия промышленного производства на окружающую среду (за счет сокращения эмиссий и количества отходов, не прошедших переработку) — стратегическая задача развития промышленности Российской Федерации и внедрения экологически, экономически и ресурсоэффективных технологических процессов. Возвращение вторичных ресурсов в хозяйственный оборот представляет собой важнейшее направление экологической промышленной политики [9].

Показателями эффективности деятельности технопарка «Реал-Инвест» и внедрения новых технологий являются:

- ▶ улавливание — 60,3 CO₂-экв. т;
- ▶ получение продукции из CO₂ — 36 540 т;
- ▶ снижение полигонального захоронения отходов — 9000 т;
- ▶ производство 7200 т полимерной продукции для повторного использования;
- ▶ ресурсоэффективность — более 50%;
- ▶ энергоэффективность — цена на энергоресурсы ниже на 30%.

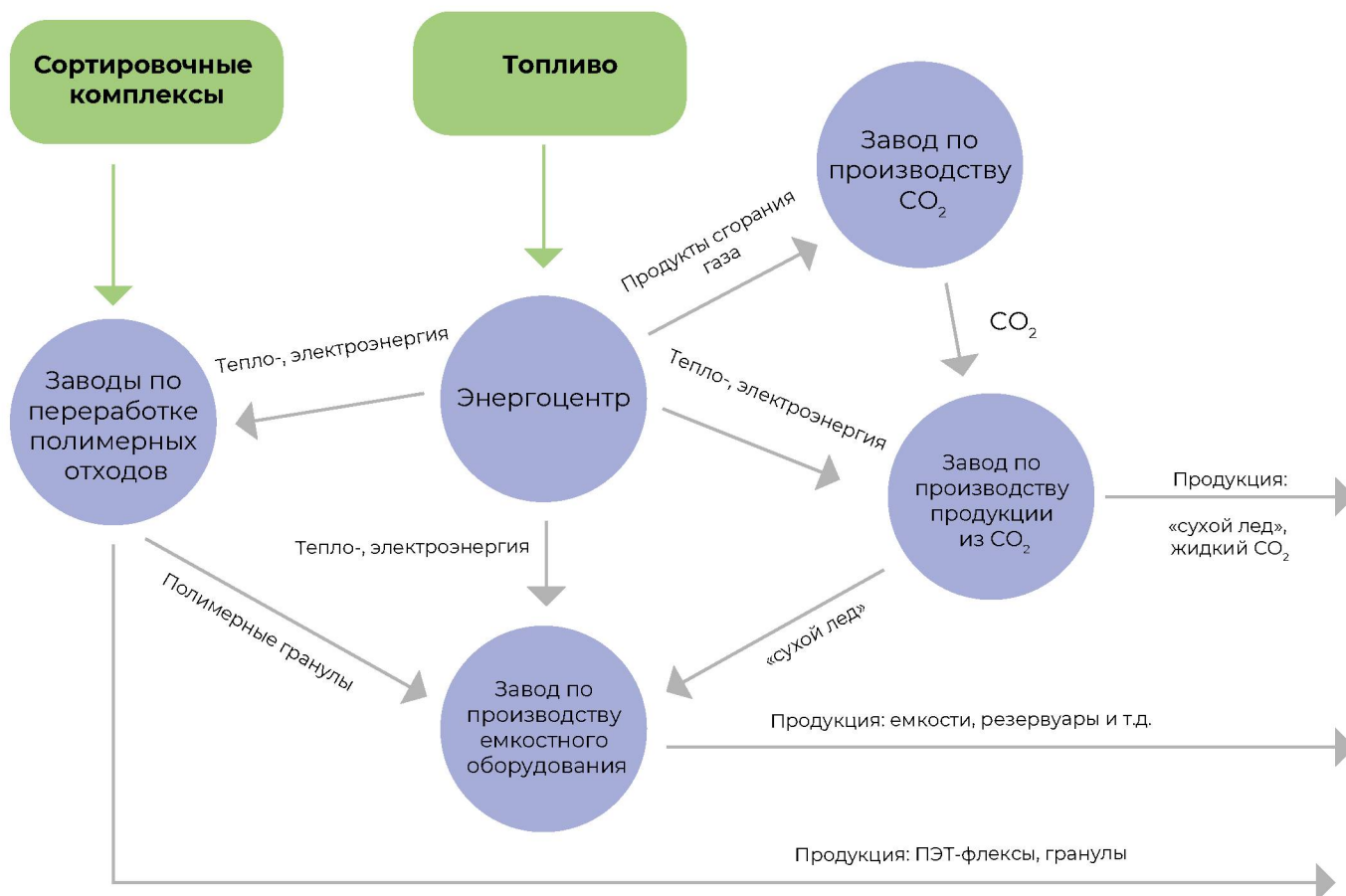


РИС. 2. Схема движения отходов и продукции на территории технопарка «Реал-Инвест» с учетом принципа экономики замкнутого цикла

Таким образом, технопарк «Реал-Инвест» соответствует принципам экономики замкнутого цикла:

- ▶ максимальный возврат в экономический оборот отходов и побочных продуктов, образующихся в результате хозяйственной деятельности человека;
- ▶ увеличение ресурсоэффективности промышленных предприятий;
- ▶ снижение полигонного захоронения отходов;
- ▶ сокращение образования отходов, выбросов и сбросов загрязняющих веществ (особое внимание уделяется парниковым газам);
- ▶ ресурсосбережение;
- ▶ промышленный симбиоз (обмен ресурсами).

Рассмотренный в статье опыт внедрения инновационной отечественной технологии по улавливанию CO_2 из отходящих дымовых газов в Нижегородской области, основанной на принципах экономики замкнутого цикла, показал эффективность данной технологии в целях использования CO_2 в качестве ресурса для производства новой востребованной продукции (жидкая углекислота и «сухой лед»). В дальнейшем уловленный парниковый газ (CO_2) возможно утилизировать за пределами производственной площадки, что в конечном итоге способствует достижению целей и задач декарбонизации.

Данная инновационная технология направлена на решение следующих стратегических целей и задач:

- ▶ создание нового поколения промышленных установок для очистки дымовых газов от вредных, потенциально опасных выбросов;
- ▶ получение товарного продукта — диоксида углерода с чистотой 99,99%;
- ▶ уменьшение зависимости российских предприятий от импорта углекислоты высокой степени очистки;
- ▶ обеспечение независимости российского рынка от импортного оборудования;
- ▶ создание оборудования по экстракции диоксида углерода, превосходящего зарубежные установки и позволяющего конкурировать на мировом рынке производителей аналогичного оборудования и поставлять заводы по производству сжиженной углекислоты на экспорт.

Разработка отечественного оборудования такого класса позволит наладить его промышленное производство и тиражировать данную установку с разной производительностью и разными параметрами исходного сырья по запросу потребителей во многих регионах Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Парижское соглашение РКИК ООН от 12.12.2015 // Бюллетень международных договоров, № 4, апрель 2020 г.
2. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 г., утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523-р.
3. Global CCS Institute, 2019, Targeting Climate Change: Growing Momentum for Carbon Capture and Storage, <https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/> accessed August 2020
4. Технологический обзор. Улавливание, использование и хранение углерода (CCUS) / Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций / Website: <http://www.unepce.org/>
5. Сафрыгин М. Ю. Промышленный симбиоз как инструмент межотраслевого взаимодействия / М. Ю. Сафрыгин, Н. В. Козлова; науч. рук. Н. В. Козлова // Экономика России в XXI веке: сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции «Экономические науки и прикладные исследования: фундаментальные проблемы модернизации экономики России», посвященной 110-летию экономического образования в Томском политехническом университете, Томск, 18–22 ноября 2014 г.: в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); ред. кол. Г. А. Барышева [и др.]. — 2014. — Т. 1. — С. 268–270.
6. Марьев В. А., Смирнова Т. С., Киселева С. П. Эко-технопарки как основа комплексной системы управления отходами и вторичными ресурсами (мировой опыт) // Эколого-ориентированное управление рисками и обеспечение безопасности социально-экономических и общественно-политических систем и природно-техногенных комплексов: сборник материалов круглого стола / Государственный университет управления. — М.: Издательский дом ГУУ, 2017. — С. 102–110.
7. Скобелев Д. О., Федосеев С. В. Политика повышения ресурсоэффективности и формирования экономики замкнутого цикла // Компетентность // № 3/2021 / С. 5–14.
8. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 г., утв. Президентом России 30.04.2012.
9. Скобелев Д. О. Возврат вторичных ресурсов в экономический оборот должен стать неотъемлемой частью промышленной политики страны // Компетентность // № 4/2020 / С. 8–15.